

Desenvolvimento de Amido Resistente a partir de Mandioca: do Conceito à Prática

^{1,*} Karine Oltramari, Any Castro Ruiz Marques, Roberto Barbosa Bazotte, Flávio Faria de Moraes

¹ Universidade Estadual de Maringá, Maringá - Paraná – Brazil

* karineoltramari@hotmail.com

Resumo: O presente artigo trata-se do estudo de alimentos funcionais e sua importância na saúde, apresentando o desenvolvimento do amido resistente de mandioca (ARM) realizado em dois níveis: o teórico ou conceitual e o experimental. A metodologia envolveu as etapas para a produção do ARM, tomando a fécula de mandioca (polvilho doce) tratada com reagentes de grau alimentar e avaliada experimentalmente “*in vitro*” e “*in vivo*”. Aliada a essa etapa constituímos um estudo sobre os alimentos funcionais buscando estabelecer um marco teórico para conceituar o desenvolvimento desse tipo de alimentos. No caso da fécula de mandioca modificada para obtenção de amido resistente, os resultados indicam uma abertura para outras investigações no campo dos alimentos funcionais.

Palavras-chaves: Alimento funcional; Amido Resistente; Fécula de Mandioca; Glicemia.

Development of resistant starch from cassava: From the Concept to the Practice: This paper deals with the study of functional foods and its importance in health, with the development of resistant cassava starch (ARM) performed on two levels: the theoretical or conceptual and experimental. The methodology involved the steps for the production of ARM, taking the cassava starch (sweet cassava) treated with food grade chemicals and evaluated experimentally "in vitro" and "in vivo". Allied to this step we constitute a study of functional foods in order to establish a theoretical framework for conceptualizing the development this type of food. In the case of modified cassava starch to take resistant starch, the results indicate an opening for further research in the field of functional foods.

Keywords: Functional Food; Resistant Starch; Cassava Starch; Glucose.

Recebido: 25 de Fevereiro de 2015; aceito: 20 de Julho de 2015, publicado: 17 de Dezembro de 2015.
DOI: 10.14685/rebrapa.v6i3.207

INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentam-se os passos do estudo teórico realizado para a formulação de um produto funcional que, no caso de nossa investigação é o amido resistente de *Manihot esculenta* Crantz, a popular mandioca. Trata-se de uma investigação no âmbito da conceituação de novos produtos no ramo dos alimentos e da tecnologia adequada para sua constituição e aceitação no mercado. Os amidos resistentes (AR) são objetos de estudo no campo da nutrição funcional porque atuam de modo positivo nos cuidados da constipação, diverticulite e hemorroidas, retiram compostos

tóxicos no intestino que podem provocar tumores cancerígenos e cooperam na diminuição do índice glicêmico dos alimentos (Birt *et al.*, 2013).

O desenvolvimento de produtos alimentares funcionais é um processo complexo e diferente dos procedimentos dos produtos tradicionais; para desenvolvê-los é necessária uma abordagem integrada e inovadora até sua implantação no mercado (KHAN e WINGER, 2013). Temos diversas fases envolvidas no processo de elaboração dos produtos funcionais. A primeira é a constituição de um conceito fundamental e sua tradução em um protótipo

comercial aceitável, até a avaliação de eficácia e segurança para a utilização em humanos. Esses procedimentos aumentam a credibilidade do produto como também formam a base para a regulação e aprovação do produto além de estarem relacionados com maior aceitação pelo consumidor (JONES e JEW, 2007).

A fécula de mandioca e seus produtos derivados têm apresentado competitividade crescente no mercado de produtos para a alimentação humana e concorre, com mercados antes dominados pelo amido de milho. As maiores oportunidades de agregação de valor e as maiores perspectivas para o desenvolvimento da atividade mandiocqueira são decorrentes do aumento na participação no mercado dos amidos modificados (ALVES e VEDOVOTO, 2003).

Nas últimas décadas do século XX e nos anos iniciais do século XXI, as modificações sociais, econômicas e culturais ocorridas no Brasil provocaram alterações nos hábitos alimentares. O aumento do consumo de alimentos processados (Monteiro *et al.*, 2011) e a substituição das refeições tradicionais por lanches (DISHCHEKIAN *et al.*, 2011) fazem parte desse padrão alimentar que é compatível com a elevação das taxas de sobrepeso e obesidade no país (SOUZA *et al.*, 2013).

Esse processo levou aos estudos de alimentos funcionais e disso decorreu maior debate da relação entre saúde e nutrição resultando no desenvolvimento do conceito de alimentos funcionais (Siro *et al.*, 2008). Conceitualmente estes são alimentos com componentes denominados “substâncias bioativas” capazes de modular tanto funções no corpo como melhorar o estado de saúde e bem-estar e/ou reduzir o risco de algumas doenças. Nos últimos anos, muitos estudos foram realizados para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias no segmento de alimentos funcionais (COZZOLINO *et al.*, 2012), sendo que o foco da indústria de alimentos é no desenvolvimento de novos produtos (KHAN *et al.*, 2013).

Consideramos, para o estudo, as etapas do desenvolvimento de produtos funcionais

proposto por Jones e Jew (2007) utilizando a fécula de mandioca nativa como matéria prima de modificação para desenvolver a análise de um ingrediente com características funcionais.

Os Estudos no Campo da Alimentação Funcional: as hipóteses em uma área em processo de constituição de teoria

A indústria de alimentos, com o avanço das investigações entre nutrição e saúde das últimas décadas do século XX e na primeira década e meia do século XXI, substituiu a prática comum de produção de alimentos para uma cultura de qualidade e promoção de bem-estar. Além disso, o aumento da informação sobre os alimentos e, com isso, mais consciência dos consumidores promoveu escolhas por hábitos mais saudáveis, fatores esses que são favoráveis ao desenvolvimento de alimentos funcionais (SIRÓ *et al.*, 2008).

A cultura da mandioca aparece em mais de 100 países, destacando-se o Brasil como um dos principais *players* deste segmento (FELIPE *et al.*, 2010). Apesar da busca por novos ingredientes funcionais para atender a demanda de saúde exigida pelos consumidores, os investimentos em desenvolvimento de produtos não são prioritários no setor agroindustrial e a inovação é dependente de fornecedores de equipamentos e insumos (CHRISTENSEN *et al.*, 1996).

O mercado de alimentos funcionais depende de investimentos relevantes relacionados tanto à realização de experimentos ou estudos de caráter nutricional capazes de garantir o reconhecimento de sua funcionalidade nos órgãos de regulação, bem como na consolidação de ações de comunicação visando a esclarecer e a educar o consumidor das vantagens decorrentes do consumo desses novos produtos (LIMA *et al.*, 2009).

Os estudos desse campo devem assegurar que benefícios sejam levados aos consumidores com a adição de alimentos funcionais à dieta diária. (CLYDESDALE, 2005). Nesse contexto, Lee *et al.* (2012) avaliaram os efeitos de amido

resistente tipo 4 no ganho de peso e perfil lipídico de ratos obesos com dieta de alto teor de gordura e obtiveram resultados que sugerem que o pão de milho tem um índice glicêmico mais baixo do que o pão de trigo e que a magnitude do efeito de amido resistente na resposta glicêmica depende do tipo de pão. No estudo de (Garcia-Rodriguez *et al.*, 2013) verificou-se a glicose pós-prandial, insulina e hormônios gastrointestinais nos indivíduos saudáveis e diabéticos que receberam uma fórmula enriquecida com amido resistente tipo 4.

A publicação dessas pesquisas é uma forma de evidenciar a propriedade funcional para fins regulatórios. De acordo com Jones e Jew (2007), o caminho ideal para disseminação de dados referentes à eficácia biológica é a publicação em revistas com revisão por pares como rota que leva à ciência de ponta. Vale destacar que é igualmente importante que os resultados da eficácia e segurança, negativos ou positivos, sejam divulgados para fornecer uma avaliação equilibrada dos verdadeiros efeitos relacionados ao seu consumo.

Diante desse quadro, as estratégias alternativas envolvem o desenvolvimento de esforços de cooperação das empresas processadoras de alimentos funcionais com instituições setoriais ou de ensino e pesquisa, compartilhando os custos e as competências (LIMA *et al.*, 2009). As equipes de pesquisadores, com interesses comerciais, trabalham para elaborar os produtos com novos conceitos para a alimentação humana.

MATERIAL E MÉTODOS

A partir do estudo de Jones e Jew (2007) desenvolveu-se a produção do AR tomando a fécula de mandioca (polvilho doce). Em primeiro lugar apresenta-se a alegação da produção do AR como necessário ao campo das investigações dos alimentos funcionais. Utilizou-se para isso os argumentos da relação saúde e nutrição no campo das pesquisas dos alimentos funcionais. Após, argumentamos pela imprescindível elaboração de um protótipo para defender uma técnica para aumentar o teor de

AR na fécula de mandioca nativa, utilizou-se a técnica baseada no método de Klaushfer *et al.*, (1978) com reagentes de grau alimentar na finalidade de futuras aplicações em produtos alimentícios assim como realizou-se estudos experimentais “in vivo” descritos a seguir.

Material: a fécula de mandioca como alimento funcional

Fécula de mandioca é um produto amplamente consumido no Brasil e no mundo. No Brasil é um dos alimentos tradicionais e corresponde a 10% da produção no país. Com outros países também são produtores da mandioca. Fécula da mandioca representa uma das principais fontes de amido da dieta, (ALVES e VEDOTO, 2003; FELIPE *et al.*, 2010) e no Brasil é culturalmente aceita pela população (SOUZA *et al.*, 2013). Devido sua larga produção e a recente aplicação no setor de amidos modificados, é necessário desenvolver a noção de conceito funcional para ampliar os estudos sobre o aumento do teor de amido resistente da fécula de mandioca nativa visando sua utilização na indústria de alimentos e sobre seus benefícios à saúde.

Os alimentos funcionais podem assumir diversas tipologias. Alguns podem ser enriquecidos para reduzir especialmente o risco de doença de determinados grupos de pessoas; outros podem ser alimentos convencionais com componentes bioativos adicionados para obter resultados positivos à saúde como, por exemplo, produtos obtidos pela adição de ingredientes como os ácidos graxos poli-insaturados, antioxidantes, fibras alimentares, fitoesteróis, probióticos, vitaminas, entre outros (FERREIRA *et al.*, 2009; COZZOLINO *et al.*, 2012).

O uso dos alimentos como veículo de promoção de saúde tem incentivado não somente as pesquisas de novos componentes naturais, como também o desenvolvimento de novos ingredientes, possibilitando a inovação em produtos alimentícios e a criação de novos nichos de mercado. (BARROSO e RUBERT, 2011).

ROBERFROID (1998) e MORAES e COLLA (2006) mostram algumas características importantes para o desenvolvimento de um produto/alimento funcional. São elas: a) devem ser alimentos convencionais e serem consumidos na dieta normal/usual; b) devem ter efeitos positivos além do valor básico nutritivo, que pode aumentar o bem-estar e a saúde e/ou reduzir o risco de ocorrência de doenças, promovendo benefícios à saúde além de aumentar a qualidade de vida, incluindo os desempenhos físico, psicológico e comportamental; c) a alegação da propriedade funcional deve ter embasamento científico; d) pode ser um alimento onde a natureza de um ou mais componentes tenha sido modificada; e) pode ser um alimento no qual a bioatividade de um ou mais componentes tenha sido modificada.

Entre os estudos sobre as fibras alimentares, pesquisadores têm dedicado especial atenção ao amido resistente (AR), que tem atraído grande interesse por suas propriedades funcionais (BIRT *et al.*, 2013; NATIONAL STARCH, 2013). Por não ser digerido no intestino delgado, o AR se torna disponível como substrato para fermentação de bactérias anaeróbicas no cólon, desempenhando um papel fisiológico de grande interesse para a saúde humana (Jenkins *et al.*, 1998). Os principais benefícios relacionados ao seu consumo são o aumento do bolo fecal o que significa a obtenção de respostas positivas na prevenção de constipação, diverticulose e hemorroidas, e a diluição de compostos tóxicos, potenciais formadores de células cancerosas (BIRT *et al.*, 2013; YUE e WARING, 1998). Além disso, o AR contribui com a queda do índice glicêmico dos alimentos, proporcionando menor resposta glicêmica e consequente menor resposta insulínica, que têm sido associadas ao tratamento de indivíduos diabéticos, principalmente tipo 2 e na redução do risco de desenvolver a doença (JENKINS *et al.*, 1998); PEREIRA, 2007).

Método e técnicas:

Dos procedimentos para a constituição de um protótipo e teste de conceito para o amido resistente de mandioca (ARM)

A transferência do conceito fundamental para o protótipo foi realizada pela aplicação de uma técnica responsável por aumentar o teor de AR na fécula de mandioca nativa no Laboratório de “Engenharia Química” da Universidade Estadual de Maringá (UEM). A escolha do método para a modificação visou selecionar uma técnica previamente descrita na literatura que fosse simples e eficiente para aumentar os teores de AR. Também foi utilizado como critério de seleção que a técnica preconizasse a utilização de reagentes sem restrição para o processamento de alimentos. A técnica aplicada foi baseada no método de Klaushfer *et al.*, (1978), utilizando reagentes de grau alimentar e consistiu na reação de esterificação do amido a partir dos anidridos formados com a desidratação do ácido cítrico submetido ao aquecimento.

No procedimento experimental da modificação de fécula nativa para produção do amido resistente de mandioca (ARM), preparou-se uma solução com 20 g de ácido cítrico, ingrediente de grau alimentar comparado aos ácidos inorgânicos, dissolvido em 20 ml de água destilada e ajustou-se o pH da solução para 3,5 com NaOH (10 M). Em seguida, completou-se o volume da solução para 50 ml, com adição de água destilada. A solução de ácido cítrico foi misturada com 50 g de fécula de mandioca nativa em bandeja de aço inoxidável e condicionada durante 16 horas, à temperatura ambiente (28°C). Em seguida, a bandeja foi colocada em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C por 6 horas, para diminuir o nível de umidade. A mistura foi moída e seca em estufa por 5 horas em uma temperatura de 135°C, para ocorrer a esterificação. A mistura seca foi lavada com 3 litros de água destilada, para remover o ácido cítrico que não reagiu. O amido lavado foi seco a 50°C até atingir uma umidade entre 5 e 15% (aproximadamente 12 h), moído e passado em peneira de 80 mesh, com o objetivo de obter apenas partículas menores do que 0,180 mm. O produto foi armazenado a temperatura ambiente

($\approx 25^{\circ}\text{C}$) até sua aplicação. Essa técnica foi descrita e enviada ao NIT-UEM em novembro de 2014 solicitando depósito de patente junto ao INPI.

A determinação de Amido Resistente “in vitro”

A determinação do teor de AR foi realizada segundo a metodologia da AOAC (LATIMER, 2002) no Laboratório de “Técnica Enzimática” da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Inicialmente as amostras foram incubadas com α -amilase pancreática e amiloglicosidase (AMG) por 16 h a 37°C , em banho com agitação. Durante este tempo o amido não resistente é solubilizado e hidrolisado em D-glicose pela ação das duas enzimas combinadas. A reação foi finalizada com a adição de um mesmo volume de etanol e os grânulos de AR foram recuperados por centrifugação, lavados duas vezes com etanol (50 %), seguido de centrifugação. O AR no grânulo foi dissolvido em KOH 2 M através de agitação vigorosa em banho gelado com agitador magnético. A solução foi neutralizada com tampão acetato e o amido foi quantitativamente hidrolisado a glicose com a AMG. A quantidade de D-glicose foi medida com glicose oxidase/peroxidase (GOPOD) e o AR foi calculado utilizando o fator de conversão de massa de glicose à massa de amido ($f = 0,9$). O amido não resistente (amido solubilizado) foi determinado com os acúmulos de sobrenadantes e das lavagens ao ajustar o volume para 100 mL por meio da medida do conteúdo de D-glicose com GOPOD.

Esse procedimento adotado para a determinação do AR foi uma técnica de medida direta por meio do qual se verificou um aumento significativo nos teores de AR da fécula nativa após o tratamento realizado. Os resultados encontrados foram de 1,5 % de AR na fécula nativa e 53,62% no amido após a modificação (AR de mandioca). Esses dados indicam a modificação dos grânulos de amido que se tornaram resistentes à digestão devido ao intercruzamento e formação de ésteres na reação de formação do citrato de amido. A explicação para o aumento no percentual de AR parece estar relacionada com a dificuldade das enzimas amilolíticas em efetuar a quebra das ligações glicosídicas da amilose e amilopectina,

impedindo o rompimento dessas moléculas (LIBERATO *et al.*, 2002).

A importância da concentração do AR em relação aos benefícios à saúde tem sido amplamente descrita e, por isso, os elevados teores de AR obtidos no AR de mandioca são significativos para a produção de alimentos funcionais (BIRT *et al.*, 2013). Destaca-se ainda como vantagem a técnica aplicada neste estudo, que utiliza apenas aditivos autorizados segundo as boas práticas de fabricação no MERCOSUL (MERCOSUL, Resolução nº 34/2010), já que os principais compradores de fécula de mandioca do Brasil são os países da América do Sul, com destaque para a Argentina, Venezuela e Uruguai (FELIPE *et al.*, 2010).

Dos procedimentos para o teste da eficácia, da segurança e das provas para a regulamentação e implementação do ARM

Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento e a aceitação de produtos funcionais incluem os novos produtos ou alternativas de processo, o grupo alvo consumidor e as questões jurídicas e de marketing que devem estar ligadas aos mecanismos favoráveis à saúde (BIRT *et al.*, 2013). Para estudar esses mecanismos, Jones e Jew (2007) sugerem a aplicação de testes em matriz específica. Considerando que o AR tem sido relacionado a diversos benefícios fisiológicos, neste estudo optamos por avaliar inicialmente a resposta glicêmica do ARM em comparação com a fécula nativa.

Após aprovação do Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Estadual de Maringá (parecer 005/2013 - 05/03/2013), realizou-se o teste em matriz específica no Laboratório de Investigação em Diabetes e Obesidade da Universidade Estadual de Maringá (UEM) para obter a resposta glicêmica “*in vivo*”. Utilizou-se 15 ratos Wistar machos, idade de 10 semanas e com peso entre 330 e 380g oriundos do Biotério Central da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Os animais foram mantidos em temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ e ciclo claro/escuro de 12/12 h. Foram acondicionados 3 animais em cada gaiola plástica (16 x 7 x 13 cm) com cama de cepilho.

Esses animais tiveram livre acesso à água e alimento (ração balanceada Nuvilab[®]) antes dos experimentos.

Os animais foram jejuados (15 h), retirando o alimento no dia anterior ao experimento às 17h00min até às 08h00 horas do dia seguinte.

Os animais submetidos ao jejum foram divididos em 3 grupos: Grupo A: veículo (água natural); Grupo B: Fécula 1g/kg (Zaeli[®]); Grupo C: Amido resistente da mandioca (ARM) 1g/kg. Os animais receberam os produtos diluídos em 2 ml de água, via oral (gavagem) no tempo 0 min. As concentrações de glicose foram avaliadas de acordo com a técnica descrita a seguir.

Determinação da glicemia pelo glicosímetro

Após receberem os produtos, avaliou-se as glicemias nos tempos 0, 5, 15, 30, 60, 90 e 120 min, (Figura 1), a partir de sangue coletado (50µL) através de uma pequena incisão na extremidade da cauda dos animais. Utilizou-se tira-teste e glicosímetro. Cada tira-teste possui uma zona (não-visível) com substâncias químicas reagentes. Quando o sangue é aplicado nessa área, esta muda de cor devido a uma reação mediada por óxido-redutase ou reação PQQ-dependente mediada por glicose desidrogenase. O monitor registra a alteração de cor na zona de teste e, com base nisso, calcula o valor da glicemia. O sistema de medida detecta as concentrações de glicose em um intervalo de 10-600 mg/dL. Os valores registrados (10-600 mg/dL) foram devidamente anotados. Ao final dos experimentos, os animais foram eutanaziados através da injeção letal de tiopental sódico 100 mg/kg via intraperitoneal, seguido de injeção de KCl 2 mM/kg, via intracardíaca. Os animais eutanaziados foram congelados e encaminhados ao Biotério Central da Universidade Estadual de Maringá para serem incinerados.

Análise estatística

Os valores de glicemia foram expressos como área sob a curva (AUC) - concentração de glicose (mg/dL) x 120 min, sendo analisados pelo teste One way ANOVA seguido de teste de

Tukey utilizando o programa GraphPad Prism-versão 5.0. Adotou-se o nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Os resultados foram apresentados como média \pm erro padrão (MEP), sendo utilizado 2-5 animais em cada grupo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A glicemia pós-prandial é modulada principalmente pela velocidade de liberação dos carboidratos da dieta para a corrente sanguínea após as refeições, pelo tempo de depuração dos carboidratos resultante da secreção de insulina (SHENK *et al.*, 2003) e pela sensibilidade tecidual periférica à ação desse hormônio (Defronzo e Ferrannini, 1982; SILVA *et al.*, 2009). Diferentes fontes de carboidrato variam quanto às suas taxas de absorção e, conseqüentemente, são também variáveis seus efeitos sob as concentrações plasmáticas de glicose e insulina.

A resposta glicêmica do ARM (1g/kg) foi comparada com a fécula nativa (1g/kg) e os resultados obtidos (Figura 1) sugerem que as diferenças ($p < 0,05$) no impacto glicêmico ocorreram nos tempos 30, 60 e 90 min. No estudo realizado por (KAWAI *et al.*, 2013) a resposta glicêmica pós-prandial de cookies com maior teor de amido lentamente digerido reduziu significativamente o pico de glicose aos 30 min após administração em ratos, quando comparada ao controle. Como o amido modificado não mostrou reduções significativas no sangue dos animais (Figuras 1 e 2), serão necessários novos estudos, incluindo indivíduos com alterações no metabolismo de carboidratos, como pré-diabéticos e diabéticos, a fim de compreender melhor a relação entre o amido resistente e a glicemia.

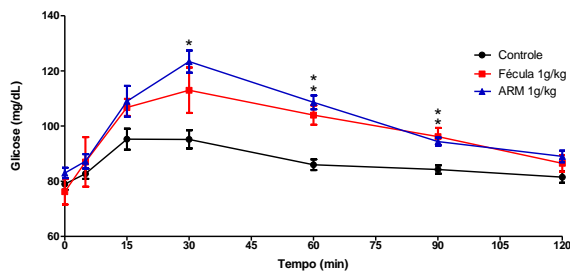


FIGURA 1 – Curva glicêmica (mg/dL) em função do tempo de ingestão (minutos) da fécula de mandioca nativa (Fécula - 1g/Kg) e amido resistente de mandioca (ARM - 1g/kg), administrados oralmente em ratos Wistar. * $p < 0,05$ comparado com o grupo controle (água). Média \pm Erro Padrão (MEP). $n = 15$

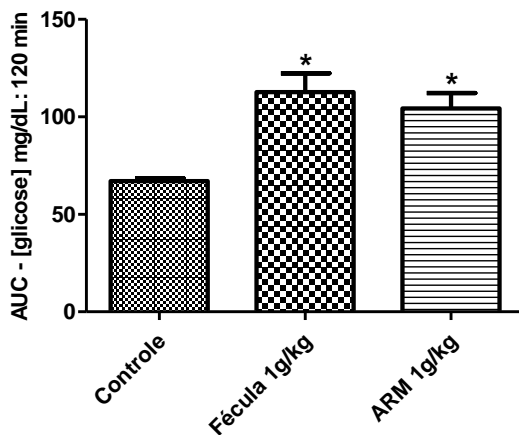


FIGURA 2 - Área sob a curva (AUC) da concentração de glicose (mg/dL) x 120 min da Fécula (1g/Kg) e Amido Resistente de Mandioca (ARM - 1g/kg) administrados oralmente em ratos Wistar. * $p < 0,05$ comparado com o grupo controle (água). Média \pm Erro Padrão (MEP). $n = 15$.

Na literatura, os efeitos do AR sobre a resposta glicêmica são conflitantes (SALGADO *et al.*, 2004) A relação entre o conteúdo de AR e a resposta glicêmica de alimentos não é, ainda, simples de ser estabelecida, pois poderia se presumir que alimentos com alto conteúdo de AR levariam a respostas glicêmicas mais tênues (BASSO *et al.*, 2011). No entanto, percebe-se

que isso não é uma regra. Por exemplo, batata assada e flocos de milho, mesmo tendo alta quantidade de AR, possuem elevada resposta glicêmica. (DENARDIM *et al.*, 2005). Além disso, Caruso e Menezes (2000) demonstraram que flocos de milho produziram elevada resposta glicêmica, embora contivessem elevado teor de AR e amido rapidamente digerido o que o levou a concordar com o estudo de Englyst *et al.*, (1999), que afirma não haver evidenciada correlação entre o conteúdo de AR e a resposta glicêmica. Contrastando com esses resultados, outro estudo utilizando alimentos contendo 0% e 54% de AR, comprovou a habilidade da refeição contendo elevado conteúdo de AR em reduzir significativamente a concentração pós-prandial da glicose sanguínea, insulina e epinefrina (RABEN *et al.*, 1994).

Em estudo anterior, Choi *et al.*, (2010) descreveram uma resposta diminuída da glicose em camundongos quando investigaram o arroz revestido e adicionado de AR (tipo 4) comparado ao arroz controle, atribuindo os menores níveis de glicose não somente à presença de AR, mas também ao impedimento do ataque enzimático causado pelo revestimento. No entanto, estudos em cães saudáveis mostram que os diferentes tipos de amido estudados (amido cru de trigo, amido gelatinizado de trigo, amido cru de mandioca e amido gelatinizado de mandioca) não proporcionaram alterações da glicemia, apesar de alterar significativamente a insulinemia (SILVEIRA *et al.*, 2004). Outras evidências científicas sugerem que a resposta glicêmica do AR envolve mecanismos complexos, como no estudo realizado por Bodinham *et al.*, (2008) que avaliaram o AR tipo 2 em humanos, e observaram o envolvimento de outros fatores como o peptídeo C e a insulina.

Com base no exposto, estudos utilizando outras espécies, bem como a avaliação da insulinemia e glucagonemia, serão necessários para melhor compreensão do modo de ação do ARM. Além disso, conforme evidenciado no estudo de Basso *et al.*, (2011), embora os resultados não tenham revelado influência significativa do AR testado sobre a glicemia, recomenda-se ponderar os vários outros efeitos benéficos ao organismo

que podem ser obtidos a partir do consumo periódico de amido resistente. A revisão publicada por Birt *et al.*, (2013), que engloba evidências para diferentes alegações de propriedades funcionais do AR, como estudos referentes a motilidade intestinal, colesterol, obesidade e saciedade, justifica a necessidade de novas pesquisas sobre o mecanismo de ação em saúde do ingrediente desenvolvido nesse estudo, não somente quanto aos impactos na glicemia, mas em estudos direcionados às diferentes alegações descritas na literatura científica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ARM desenvolvido no estudo realizado a partir da modificação da fécula de mandioca nativa apresenta um potencial ingrediente funcional, porém necessita de mais investigações para a busca de maiores evidências aplicadas ao mecanismo de ação dos benefícios e alegações em saúde. Nessa perspectiva, consideramos que os resultados expostos aqui são importantes para a formulação de novos problemas e novas hipóteses para os avanços no campo de alimentos funcionais e para uma parceria entre indústria e a universidade. Embora haja controvérsias sobre os efeitos fisiológicos de diferentes tipos e fontes de amido resistente, é importante destacar que a mandioca constitui a base da dieta de milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento e, por isso, mostra muito potencial para a alimentação e para a saúde.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E.R.A.; VEDOVOTO, G.L. A indústria do amido de mandioca. **Embrapa Informação Tecnológica** (Documentos/Secretaria de Gestão e Estratégia), Brasília, DF, 2003.
- LATIMER, G.L. Official Methods of Analysis: Association of Official Analytical Chemists International (AOAC), **Official Method**, 20^a ed., Gaithersburg, 2000.
- BARROSO, R.R.; RUBERT, S. **Elaboração e caracterização de uma bebida láctea acrescida de farinha de quinoa e inulina**. Trabalho de conclusão de curso (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), Pato Branco, 2011.
- BASSO, C.; SILVA, L.P.; BENDER, A.B.B.; SILVEIRA, F. Elevação dos níveis de amido resistente: efeito sobre a glicemia e na aceitabilidade do alimento. **Rev Inst Adolfo Lutz**, São Paulo, v.70, n.3, p.276-82, 2011.
- BIRT, D.F.; BOULSTON, T.; HENDRICH, S.; JANE, J.; HOLLIS, J.; LI, L.; MCCLELLAND, J.; MOORE, S.; PHILLIPS, G.J.; ROWLING, M.; SCHALINSKE, K.; SCOTT, M.P.; WHITLEY, E.M. Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. **Adv Nutr.**, v.4, n.6, p.587-601, 2013.
- BODINHAM, C.; FROST, G.; ROBERTSON, D. The acute effects of resistant starch on the postprandial insulin responses and appetite. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.67, 2008.
- CARUSO, L.; MENEZES, E.W. Índice glicêmico dos alimentos. **Nutrire**, v.19, n.20, p.49-63, 2000.
- CHRISTENSEN, J.L., *et al.* Innovation in the European food products and beverage industry. **Industry studies of innovation using C.I.S. data**, Bruxelas: European Commission - EtMS Project 94/11 I EIMS, I46p, n.35, 1996.
- CHOI, H.J.; LEE, C.J.; CHO, E.J.; CHOI, S.J.; MOON, T.W. Preparation, digestibility, and glucose response in mice of rice coated with resistant starch type 4 using locust bean gum and agar. **International Journal of Food Science & Technology**, v.45, n.12, p.2612-2621, 2010.
- CLYDESDALE, F. Functional foods: opportunities and challenges. **Institute of Food Technologists Expert Report**, Washington, p.1-66, 2005.
- COZZOLINO, F.; LECCE, L.; FRISULLO, P.; CONTE, A.; DEL NOBILE, M.A. Functional Food: Product development and health benefits.

Recent Patents on Engineering, v.6, n.1, p.2-19, 2012.

DEFRONZO, R. A.; FERRANNINI, E. Influence of plasma glucose and insulin concentration on plasma glucose clearance in man. **Diabetes**, v. 31, n. 8, p. 683-8, 1982.

DENARDIN, C.C.; WALTER, M.; SILVA, L.P.; SOUTO, G.D.; BERTONCELLO, G.S. FAGUNDES, C.A.A. Efeito dos teores de amilose de cultivares de arroz no metabolismo glicêmico em ratos. **IV CBAI, Santa Maria**; 2005.

DISHCHEKENIAN, V.R.M.; ESCRIVÃO, M.A.M.S.; PALMA, D.; ANCONA-LOPES, F.; ARAÚJO, E.A.C.; TADDEI, J.A.A.C. Padrões alimentares de adolescentes obesos e diferentes repercussões metabólicas. **Rev Nutr.**, v. 24, n.1, p.17-29, 2011.

ENGLYST, K.N.; ENGLYST, H.N. HUDSON, G.J.; COLE, T.J.; CUMMINGS, J.H. Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. **Am J Clin Nutr.**, v.69, p.448-54, 1999.

FELIPE, F.I.; ALVES, L.R.A.; CAMARGO, S.G.C. Panorama e perspectivas para a indústria de fécula de mandioca no Brasil. **Rev. Raízes e Amidos Tropicais**, v.6, p.134-146, 2010.

FERREIRA, E.H.R.; CABRAL, J.R.A.; NARDELLI, P.M. Alimentos funcionais: mercado, regulamentação e benefícios à saúde. **Leites e Derivado**, São Paulo, v.113, n.18, 2009.

GARCIA-RODRIGUEZ, C. E.; MESA, M.D.; OLZA, J.; BUCCIANTI, G.; PÉREZ, M.; MORENO-TORRES, R.; PÉREZ DE LA CRUZ, A.; GIL, A. Postprandial glucose, insulin and gastrointestinal hormones in healthy and diabetic subjects fed a fructose-free and resistant starch type IV-enriched enteral formula. **Eur J Nutr**, v. 52, n. 6, p. 1569-78, 2013.

JENKINS, D.J. *et al.* Physiological effects of resistant starches on fecal bulk, short chain fatty acids, blood lipids and glycemic index. **J Am Coll Nutr.**, v.17, n.6, p.609-616, 1998.

JONES, P.J.; JEW, S. Functional food development: concept to reality. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, n.7, p. 387-390, 2007.

Kawai K, Matsusaki K, Hando K, Hagura Y. Temperature-dependent quality characteristics of pre-dehydrated cookies: structure, browning, texture, in vitro starch digestibility, and the effect on blood glucose levels in mice. **Food Chem**, v.141, n.1, p. 223-8, 2013.

KHAN, R.S.; GRIGOR, J.; WINGER, R.; WIN, A. Functional food product development – Opportunities and challenges for food manufacturers. **Trend in Food Science & Technology**, v.30, n.1, p.27-37, 2013.

KLAUSHOFER, H.; BERGHOFER, E.; STEYRER, W. STARCH citrates-production and technical application properties. **Starch/Staerke**, v.30, n.2, p.47-51, 1978.

LEE, K.Y.; YOO, S.H; LEE, H.G. The effect of chemically-modified resistant starch, RS type-4, on body weight and blood lipid profiles of high fat diet-induced obese mice. **Starch/ Stark**, v.64, p.78-85, 2012.

LIBERATO, M.C.T.C.; SILVA, C.E.M; LEAL, M. Obtenção e aplicação do amido resistente de trigo. **Cienc. Tecnol. Aliment.**, v.4, n.1, 2002.

LIMA, M.S.; PÉVILLION, J.P.P.; PADULA, A.D. Estratégias competitivas e de desenvolvimento de produtos lácteos funcionais: estudos de caso em empresas agroindustriais da região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1547-1551, 2009.

MERCOSUL/GMC/RES. N° 34/10. **Regulamento técnico Mercosul sobre aditivos alimentares autorizados para uso segundo as boas práticas de fabricação** (Revogação da Resolução GMC N° 86/96; De acordo com:

Resolução RDC/Anvisa Nº 45, de 03/11/2010, DOU de 05/11/2010). Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/barreiras_tecnicas/rtm_alimentos.asp>. Acesso em: 20/02/2013.

Monteiro, C.A.; Levy, R.B.; Claro, R.M.; Castro, I.R.; Cannon, G. Increasing consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health: evidence from Brazil. **Public Health Nutr.**, v.14, n.1, p.5-13, 2011.

Moraes, F.P.; Colla, L.M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.3, n.2, p. 99-112, 2006.

National Starch & Chemical Industrial Ltda. Disponível em: <http://www.foodinnovation.com>. Acesso em: 20/02/2013.

Pereira, K.D. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.88-92, 2007.

Raben, A.; Tagliabue, A.; Christensen, N.J.; Madson, N.J.; Holst, J.J.; Astrup, A. Resistant Starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response and satiety. **Am J Clin Nutr.**, v.60, p.544-51, 1994.

Roberfroid, M. The science of functional food. In: **Forum On Functional Food**. Strasburgo, Franca, Strasburgo: Council of Europe, p.57-66, 1998.

Salgado, S.M.; Faro, Z.P.; Guerra, N.B.; Livera, A.V.S. Aspectos físico-químicos do amido resistente. **Bol CEPPA**, v.23, n.1, p.109-22, 2004.

Schenk, S.; Davidson, C.J.; Zderic, T.W.; Byerley, L.O.; Coyle, E.F. Different glycemic indexes of breakfast cereals are not due to glucose entry into blood but to glucose removal by tissue. **Am J Clin Nutr.**, v.78, n.4, p.742-8, 2003.

Silva, F.M.; Steemburgo, T.; Azevedo, M.J.; Mello, V.D. Papel glicêmico e da carga

glicêmica na prevenção e no controle metabólico de pacientes com diabetes melito tipo 2. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.**, v.53, n.5, p.560 – 571, 2009.

Silveira, G.B.; Paule, B.P.; Socorro, E.P. Avaliação dietética de amidos pelas respostas glicêmica e insulinêmica em cães. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.56, n.5, p.595-601, 2004.

Siró, I.; Kápolna, E.; Kápolna, B.; Lugasi, A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – A review. **Appetite**, v.51, p.51, p.456-467, 2008.

Souza, A.M.; Pereira, R.A.; Yokoo, E.M.; Levy, R.B.; Sichieri, R. Alimentos mais consumidos no Brasil: Inquérito Nacional de Alimentação 2008-2009. **Saúde Pública**, v.47, n.1. p.190 – 199, 2013.

Yue, P.; Waring, S. Resistant starch in food applications. **Cereal Food World.**, v.43, n.9, p.690-695, 1998. **Veterinária e Zootecnia**. v.49, p.483-491, 1997.

Zafalon L. F.; Nader Filho A.; Oliveira J. V.; Resende F. D. Comportamento da condutividade elétrica e do conteúdo de cloretos como métodos auxiliares de diagnóstico da mastite subclínica bovina. **Pesquisa Veterinária Brasileira.**, Rio de Janeiro, v.25, n.3, p.150- 163, 2005.